

Schicksal der Antimaterie – Wieso existieren wir?

Hans Ströher | Forschungszentrum Jülich

Zusammenfassung



Der Urknall ...



Materie trifft Antimaterie



Ein wilder Kampf beginnt.



Warum gibt es einen Sieger?

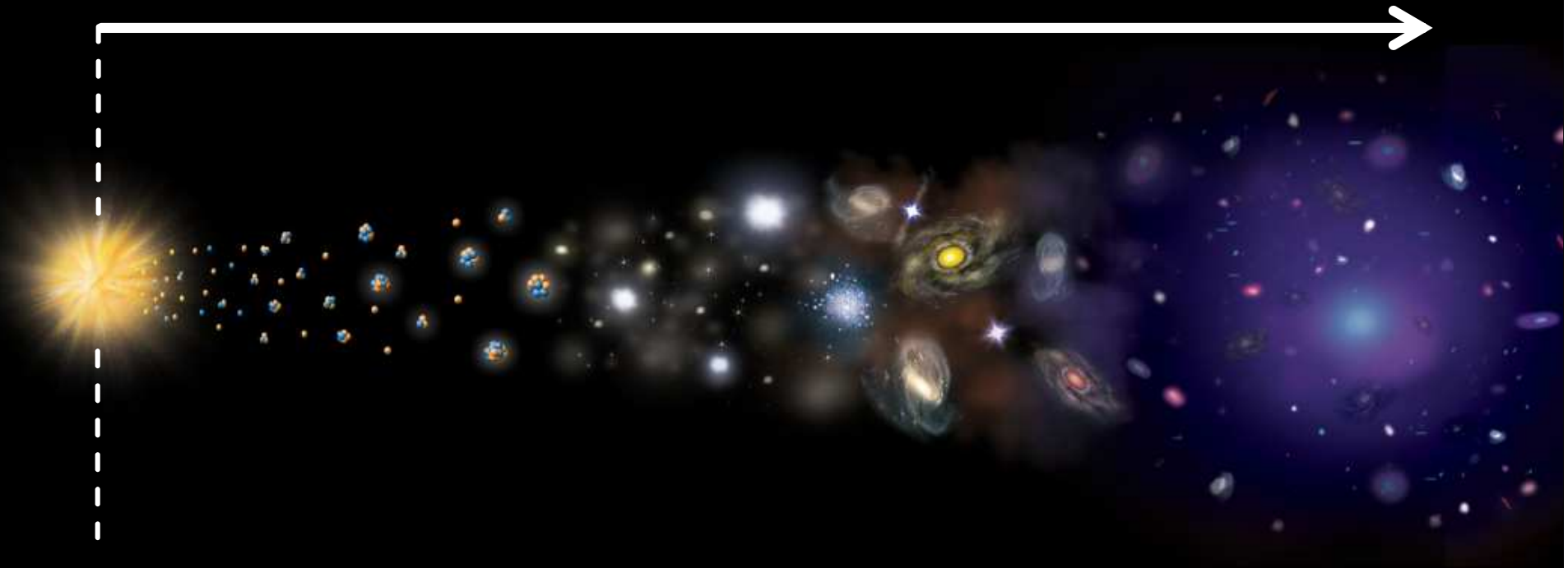
Einführung:

Das Rätsel des Materie-Universums

Zeitachse

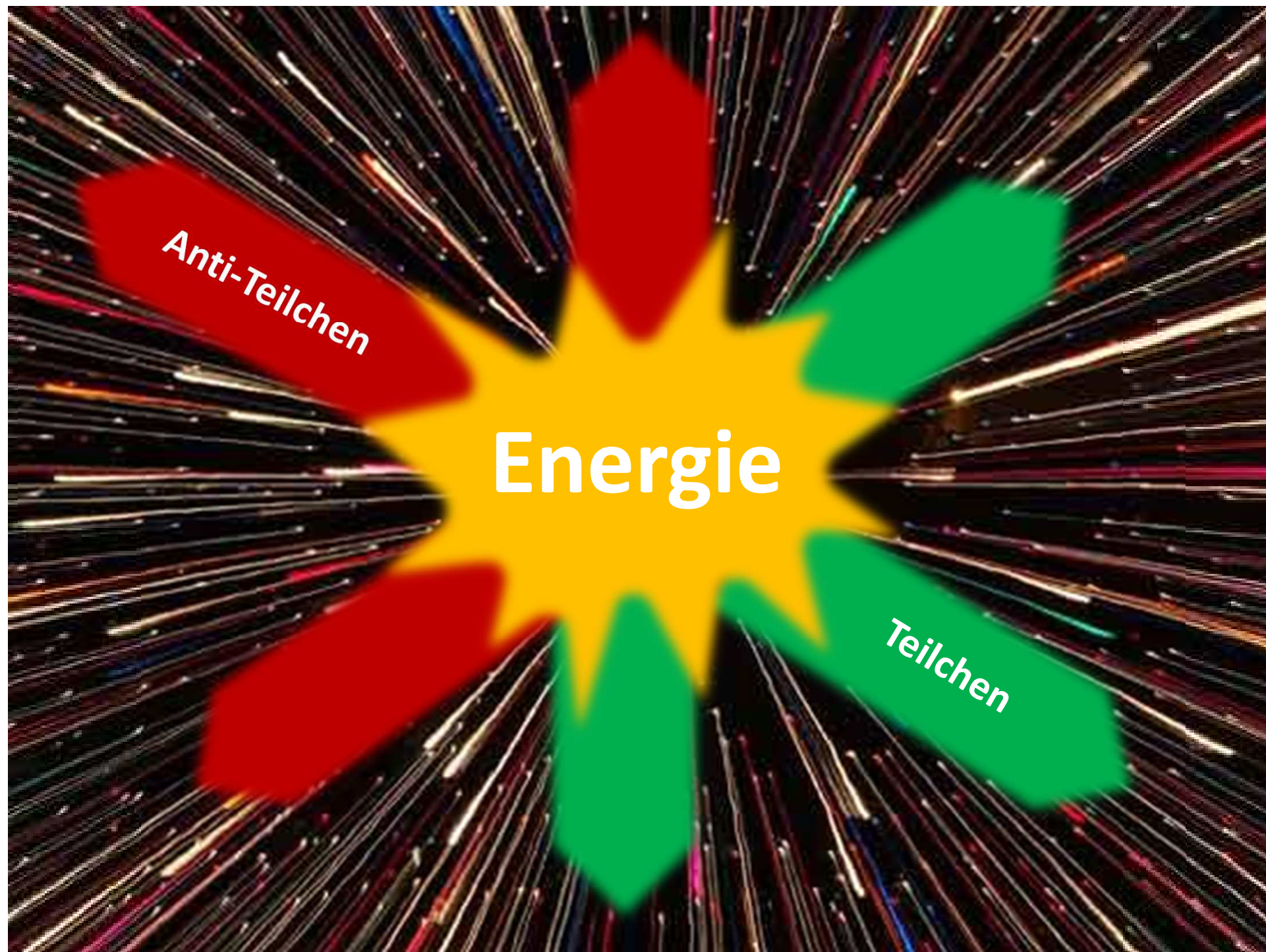
0

Heute



„Urknall“

(vor ca. 14 Mrd. Jahren)



Paarweise

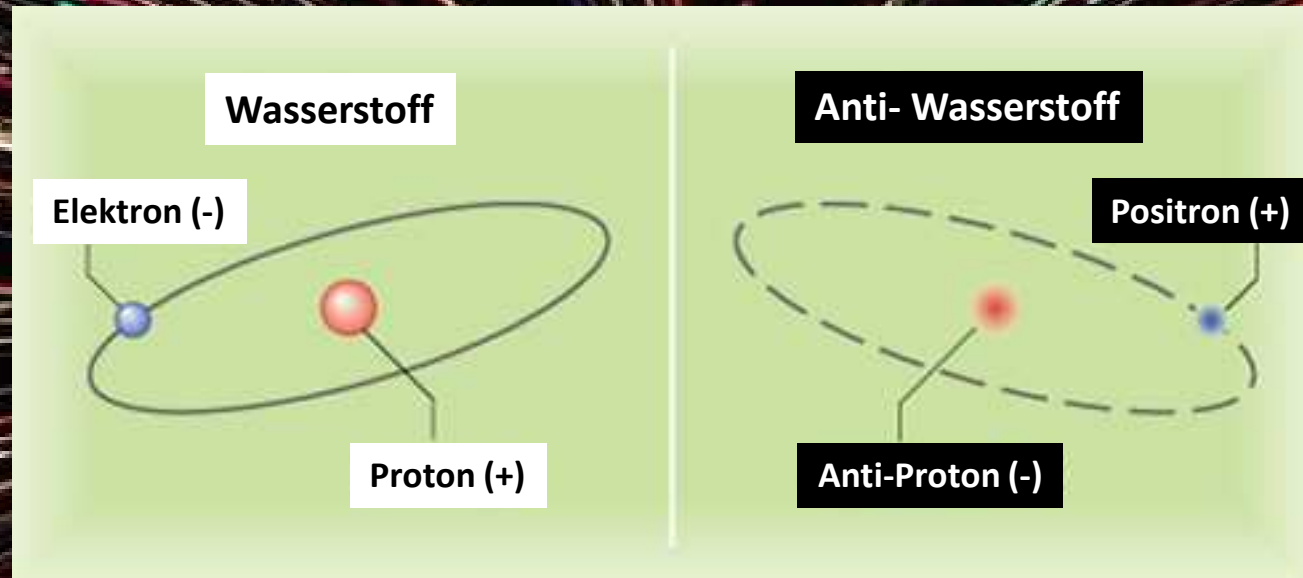


Erzeugung



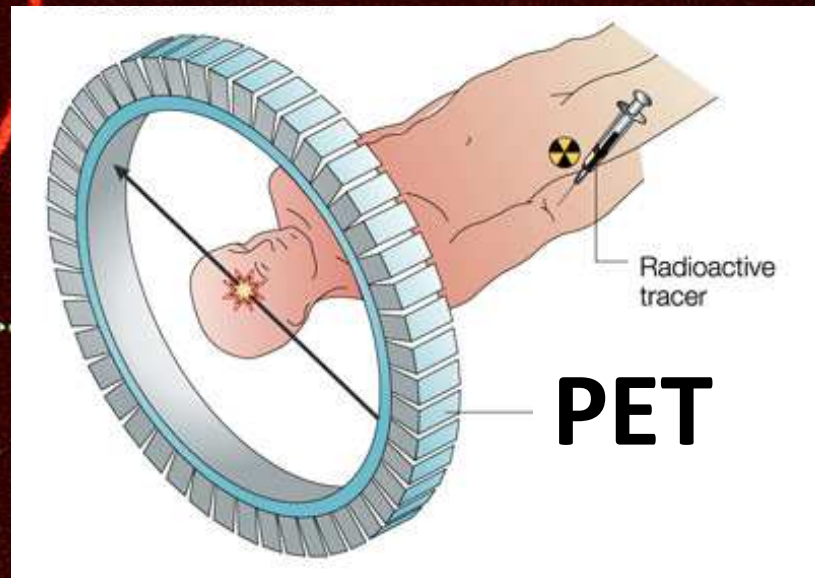
**Im Urknall:
aus Energie entstanden
Teilchen
und gleichviele
Anti-Teilchen**

... und daraus Materie



bzw. Anti-Materie

Paarweise



Vernichtung

A person is silhouetted against a vast, starry night sky. They are standing on a dark, rocky ledge or cliff. The sky is filled with numerous stars, and the overall color palette is a mix of deep blues, purples, and blacks. A large, dark circular graphic is positioned on the right side of the image, containing the main title and subtitle in white and light blue text.

Warum ist nicht nichts?

Forscher wollen eines
der größten Rätsel
lösen

<http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Meldungen/PORTAL/DE/2015/15-04-02effzett.html>

Wieso gibt es Materie?



Rätsel unserer Existenz!

Lokale oder

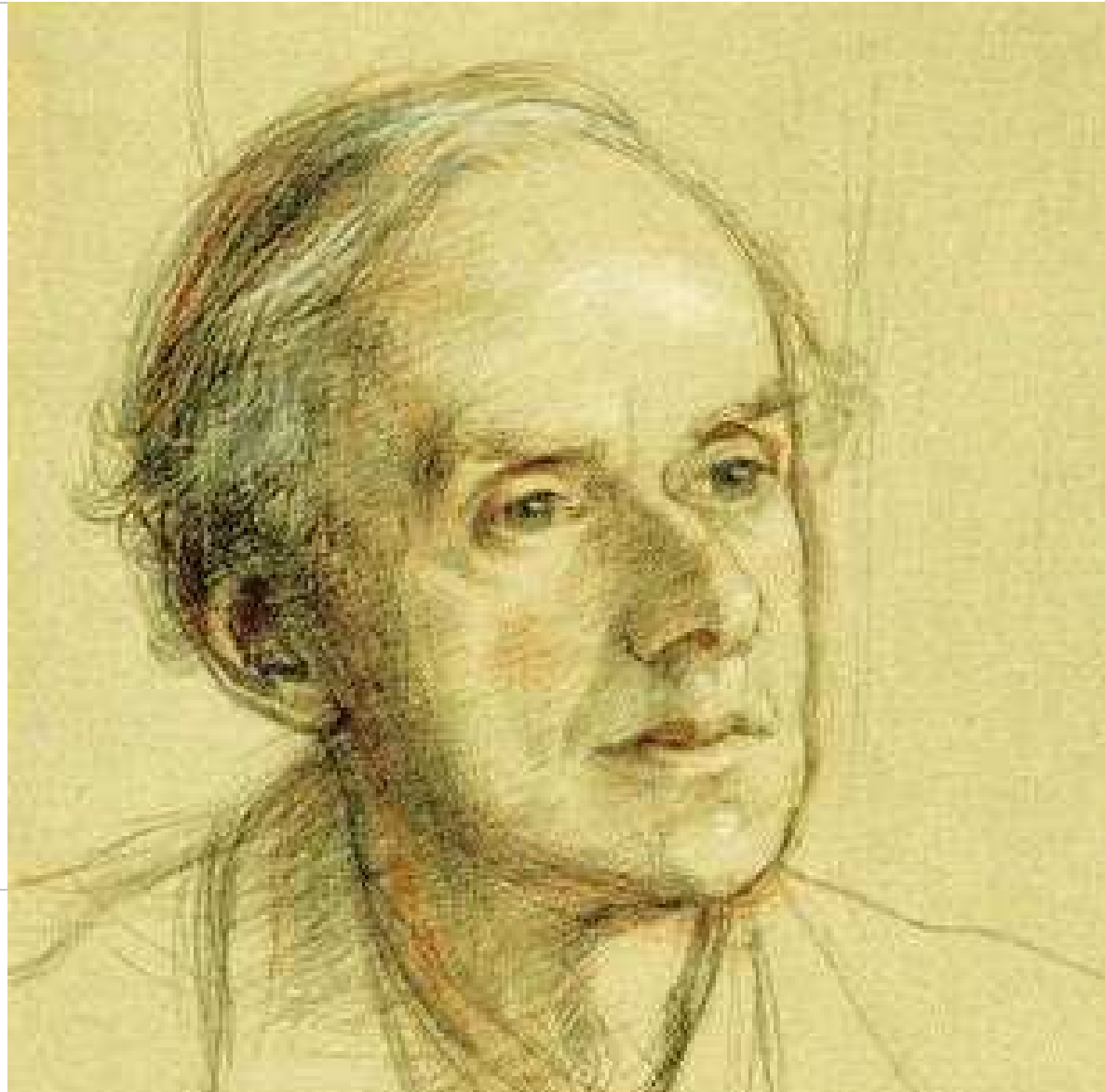


globale Asymmetrie?

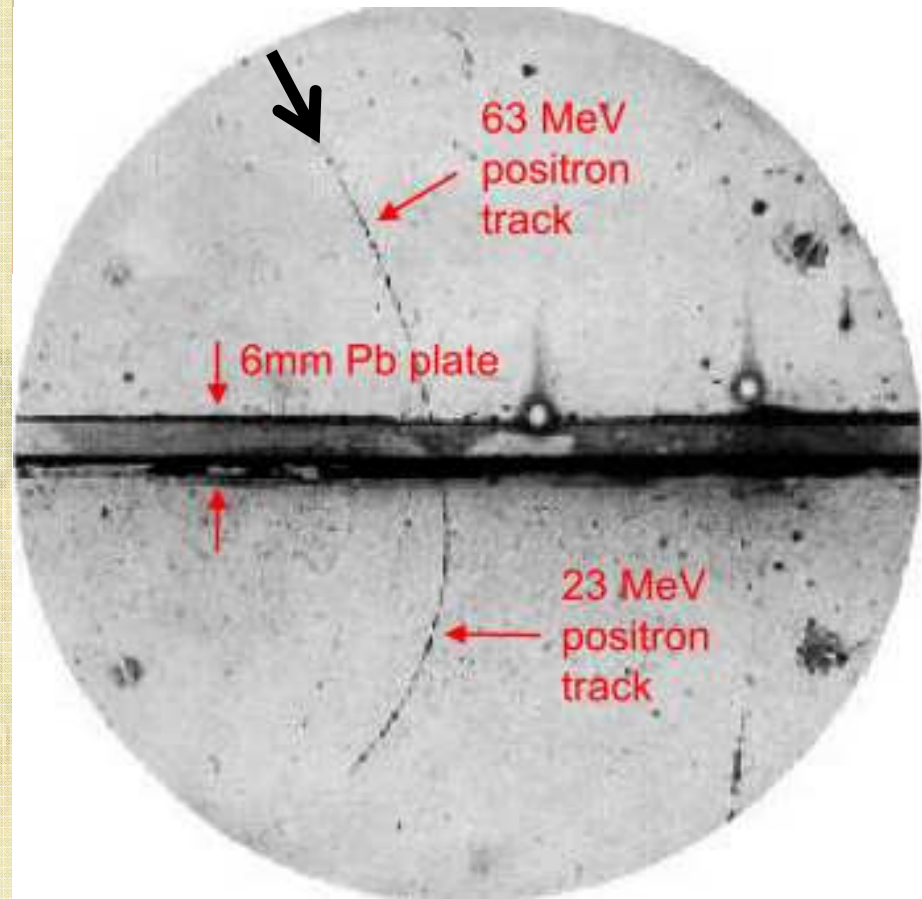
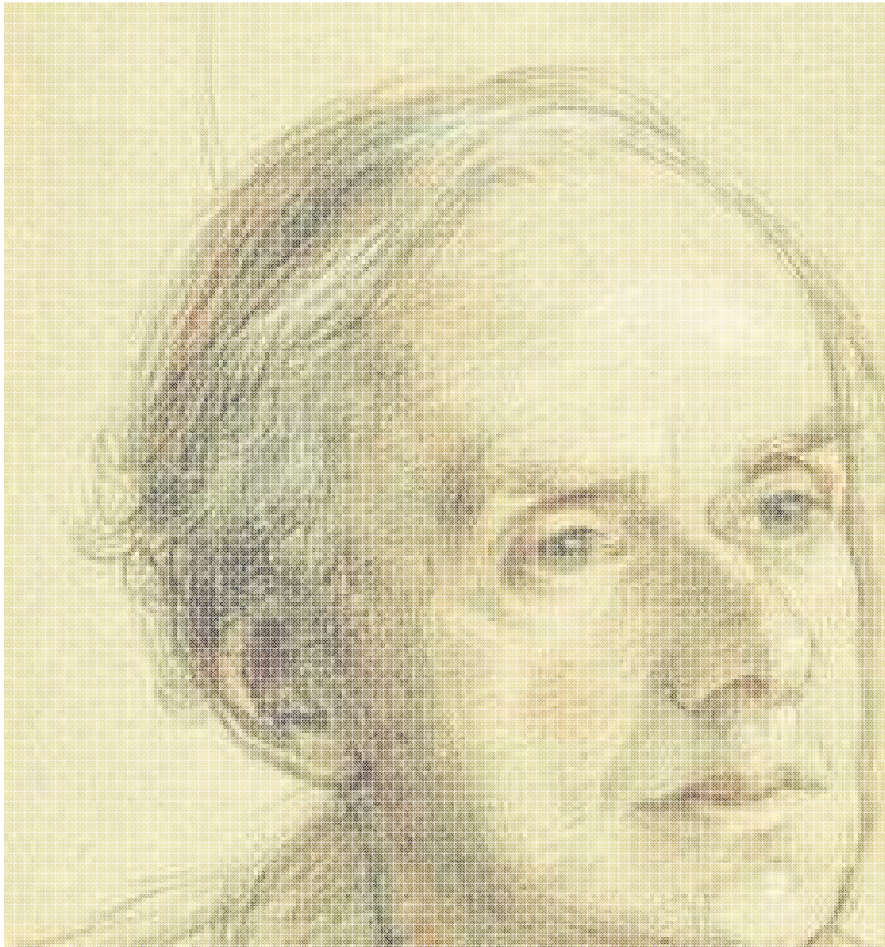
Hintergrund:

Anti-Teilchen/-Materie

Paul A.M. Dirac

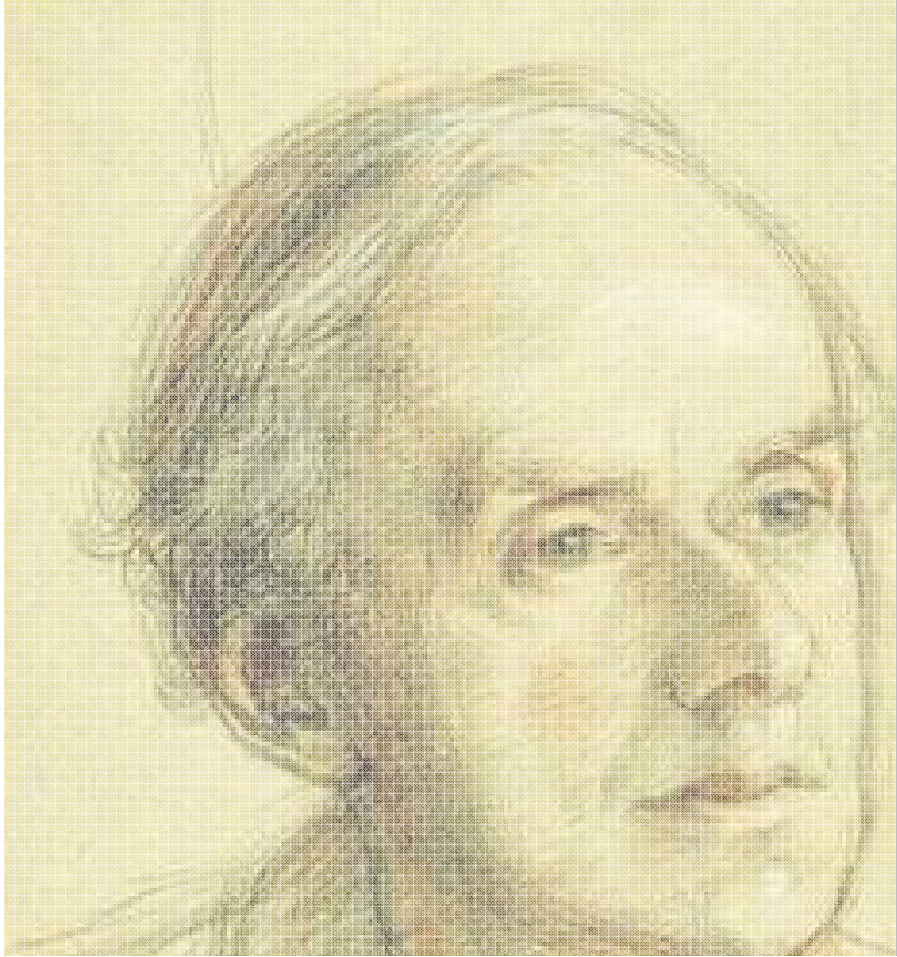


Paul A.M. Dirac



Erfinder der Antimaterie

Paul A.M. Dirac



PAUL A. M. DIRAC

Theory of electrons and positrons

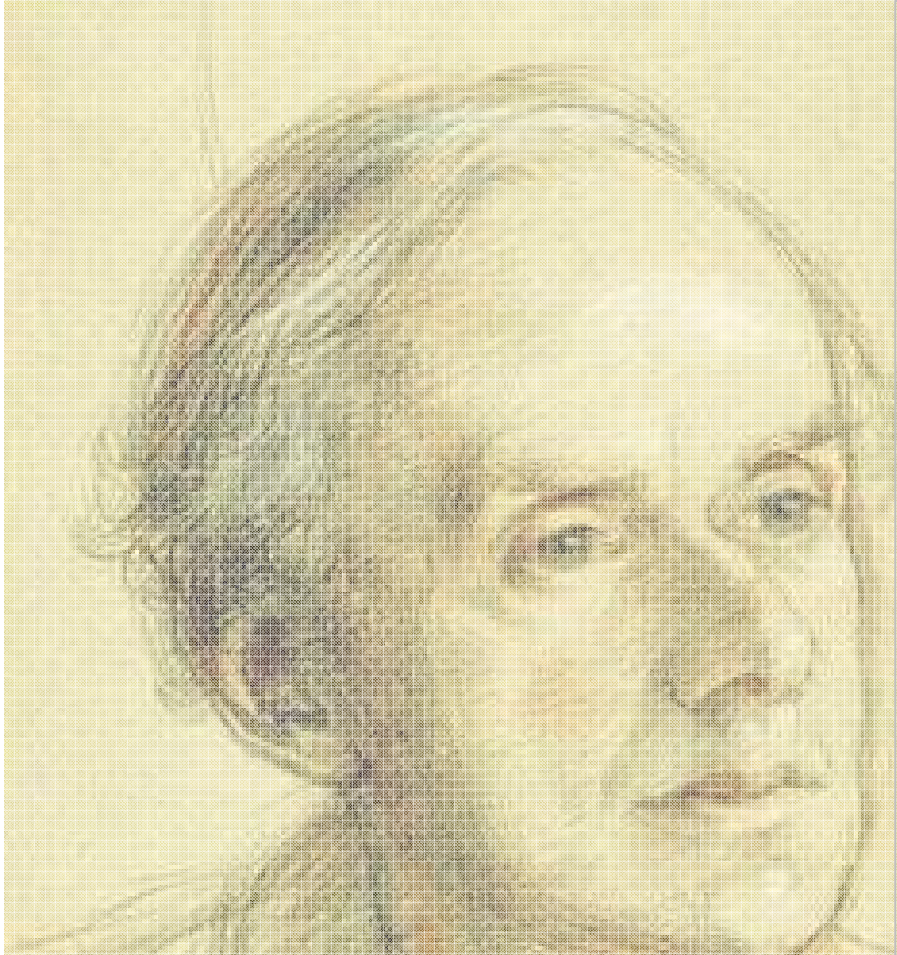
Nobel Lecture, December 12, 1933

“

..., we must regard it rather as an accident that the Earth (and presumably the whole solar system), contains a preponderance of **negative electrons** and **positive protons**.

Materie

Paul A.M. Dirac



PAUL A. M. DIRAC

Theory of electrons and positrons

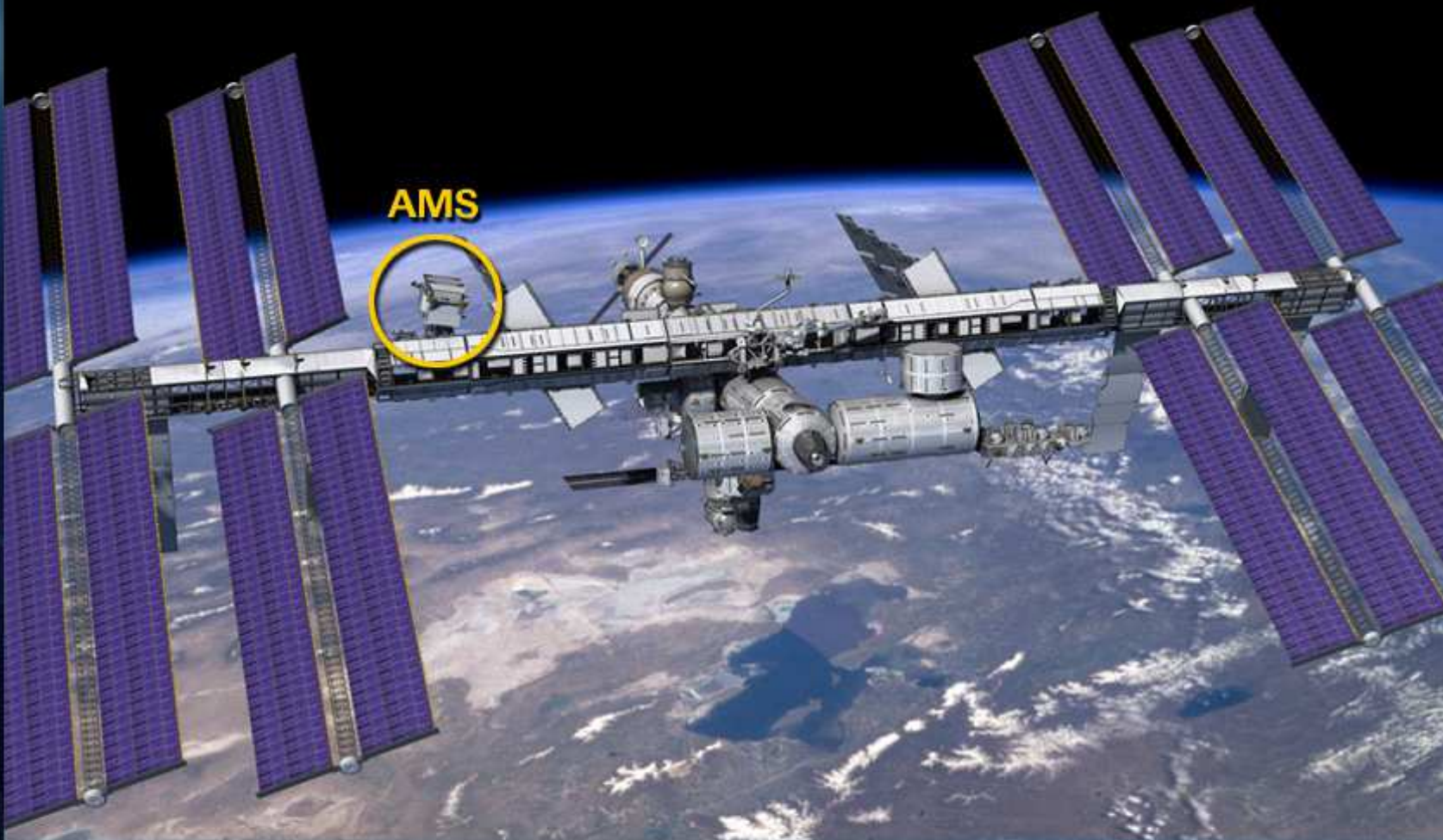
Nobel Lecture, December 12, 1933

It is quite possible that for some of the stars it is the other way about, these stars being built up mainly of positrons and negative protons.

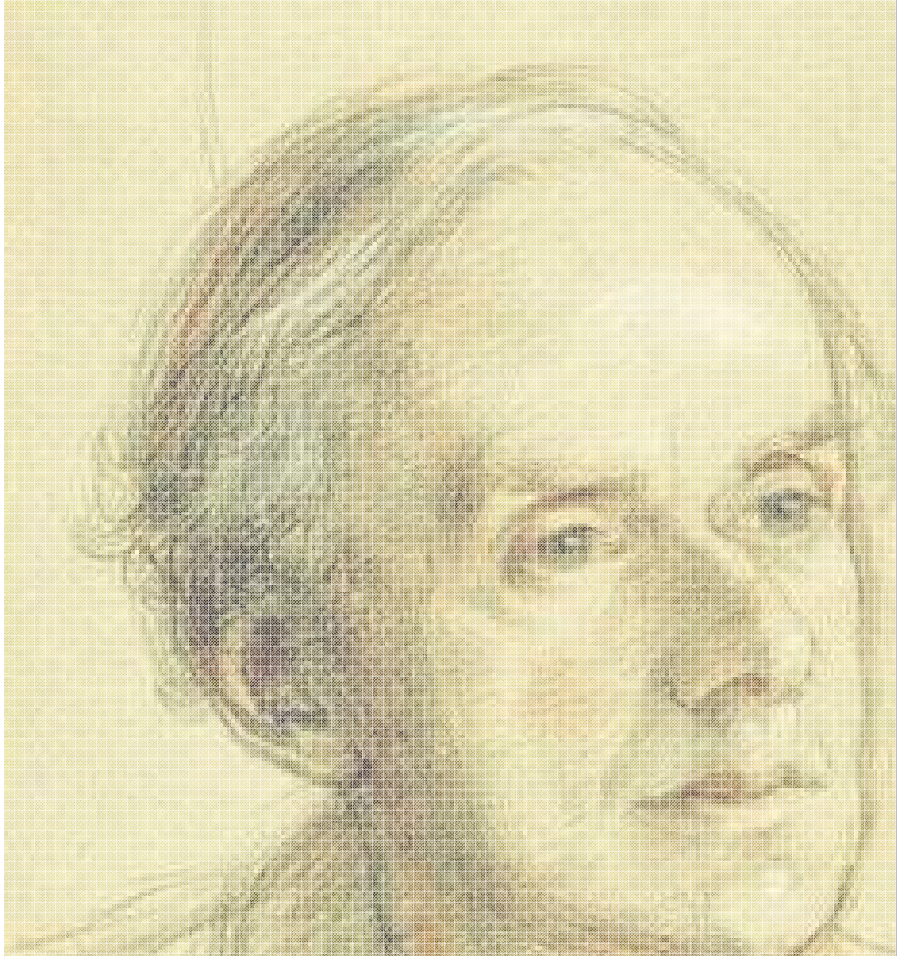
”

Anti-Materie

The Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) Experiment



Paul A.M. Dirac



PAUL A. M. DIRAC

Theory of electrons and positrons

Nobel Lecture, December 12, 1933

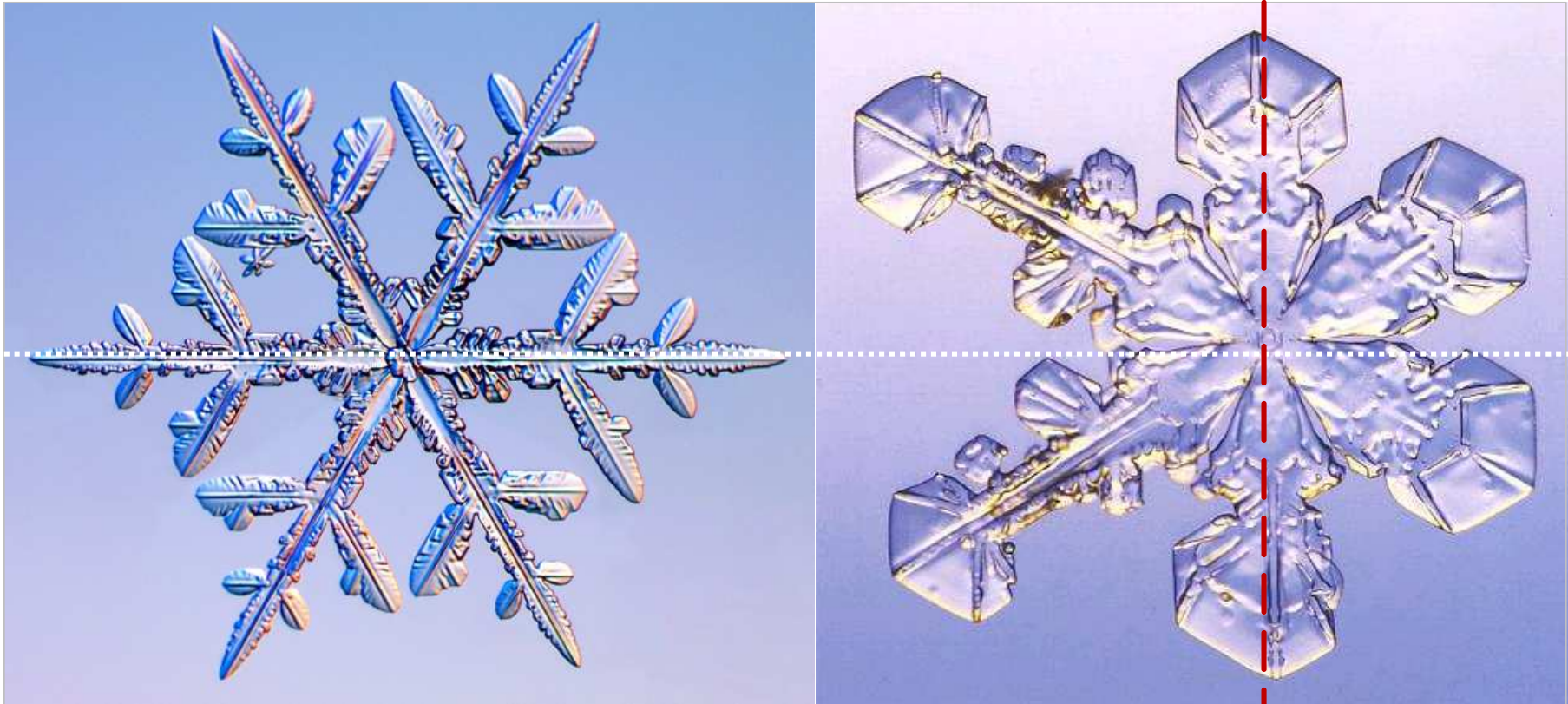
“

If we accept the view of **complete symmetry** between positive and negative electric charge as far as concerns the fundamental laws of Nature, ...

”

Symmetrie in der Natur

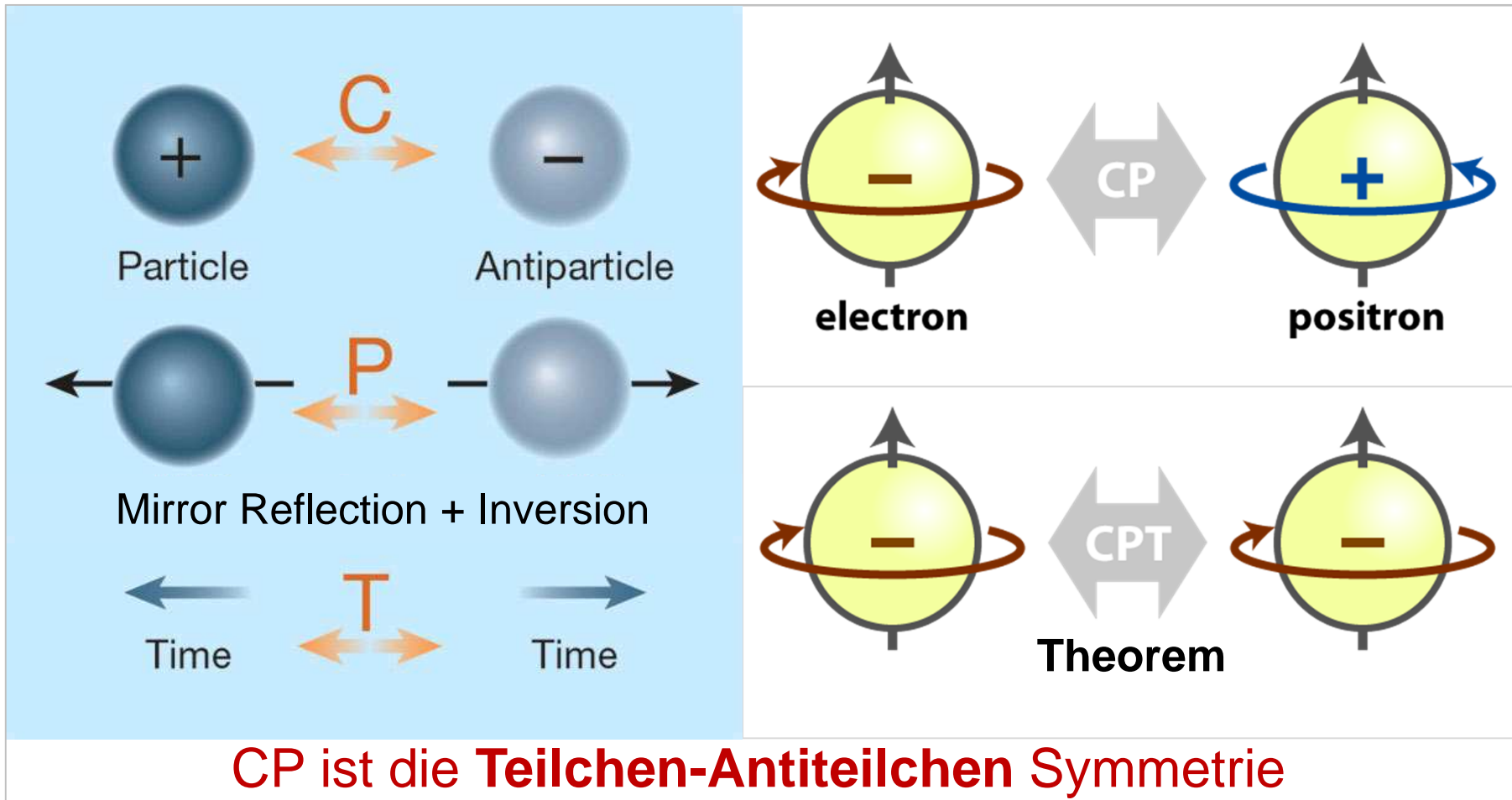
Symmetrien



– Schneeflocken –

Symmetrische Objekte

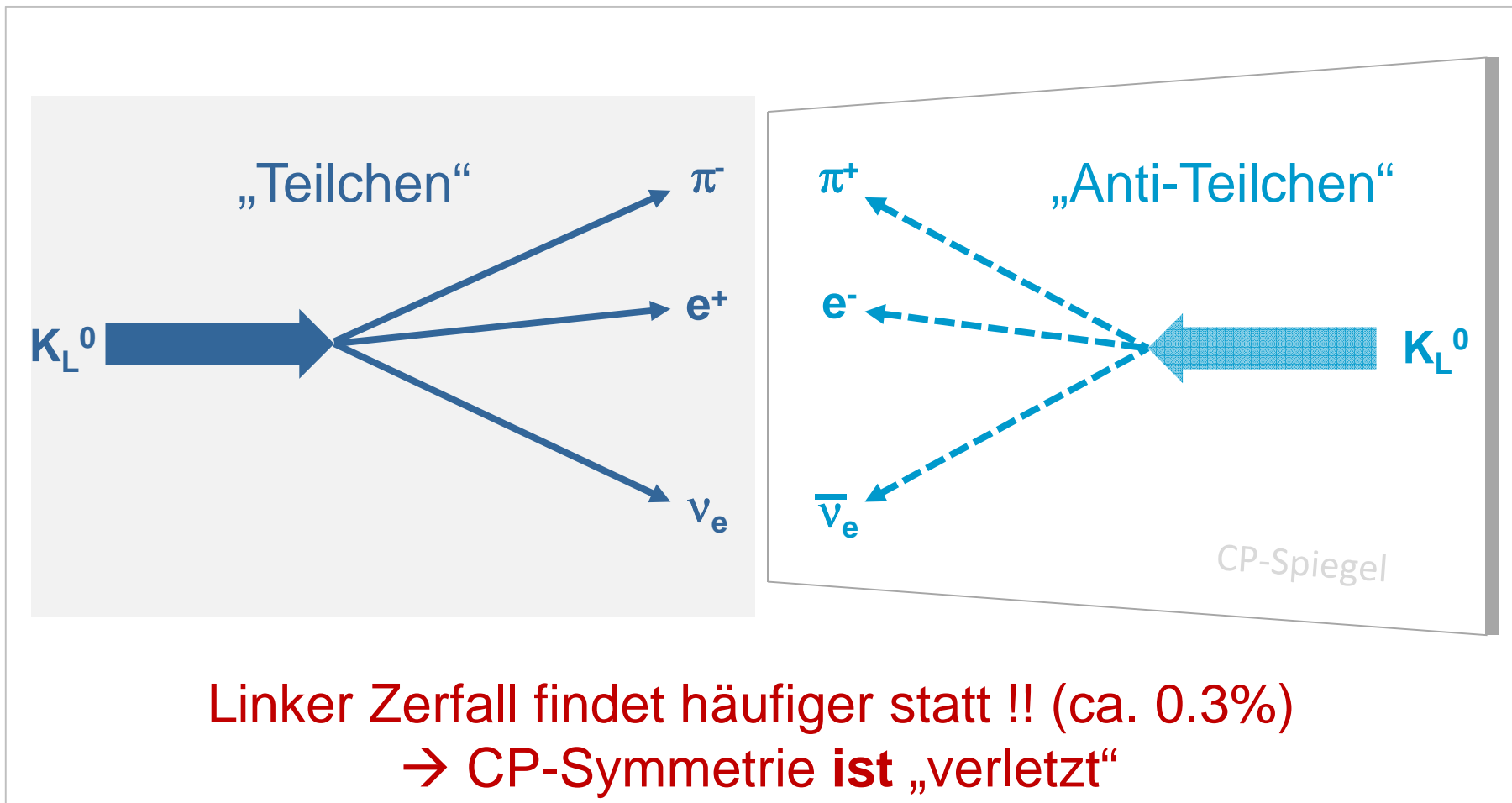
Warum Symmetrien wichtig sind



CP ist die **Teilchen-Antiteilchen** Symmetrie

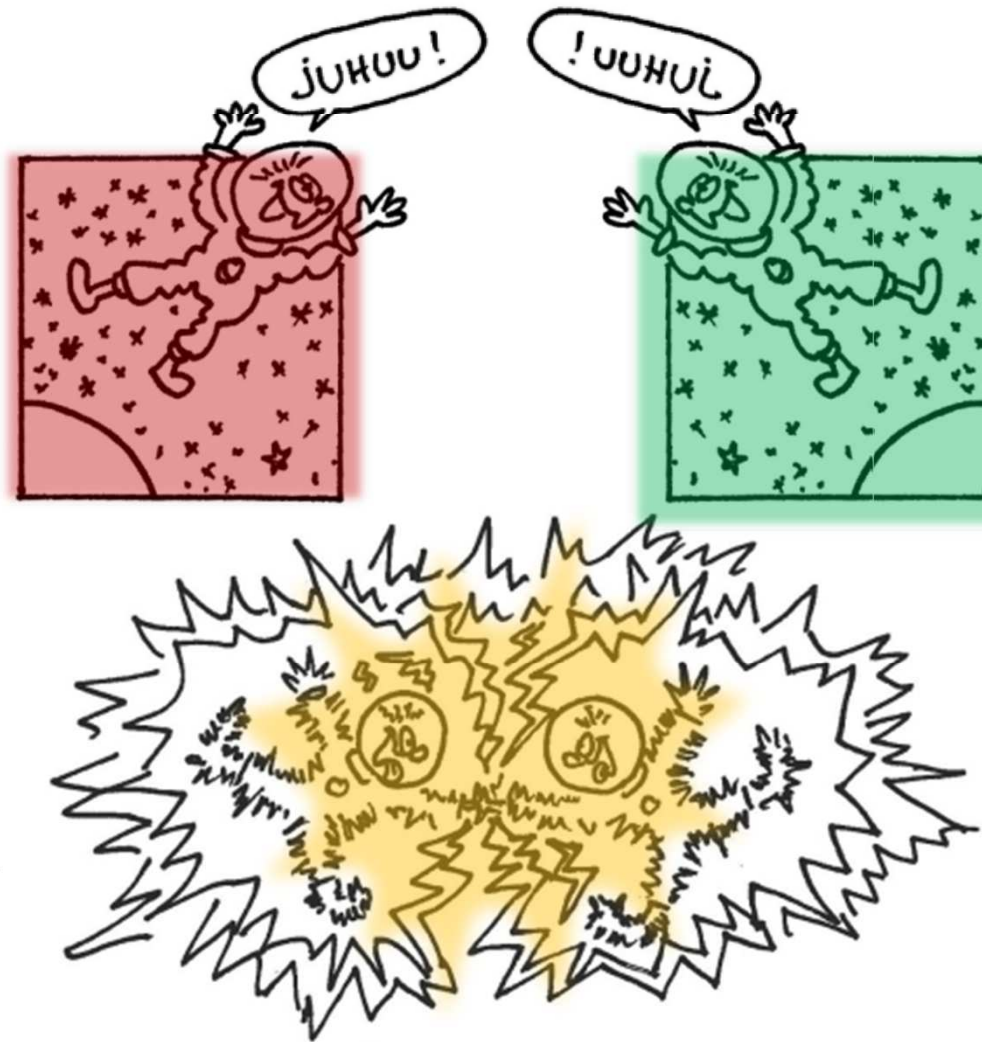
Diskrete Symmetrien

Warum Symmetrien wichtig sind

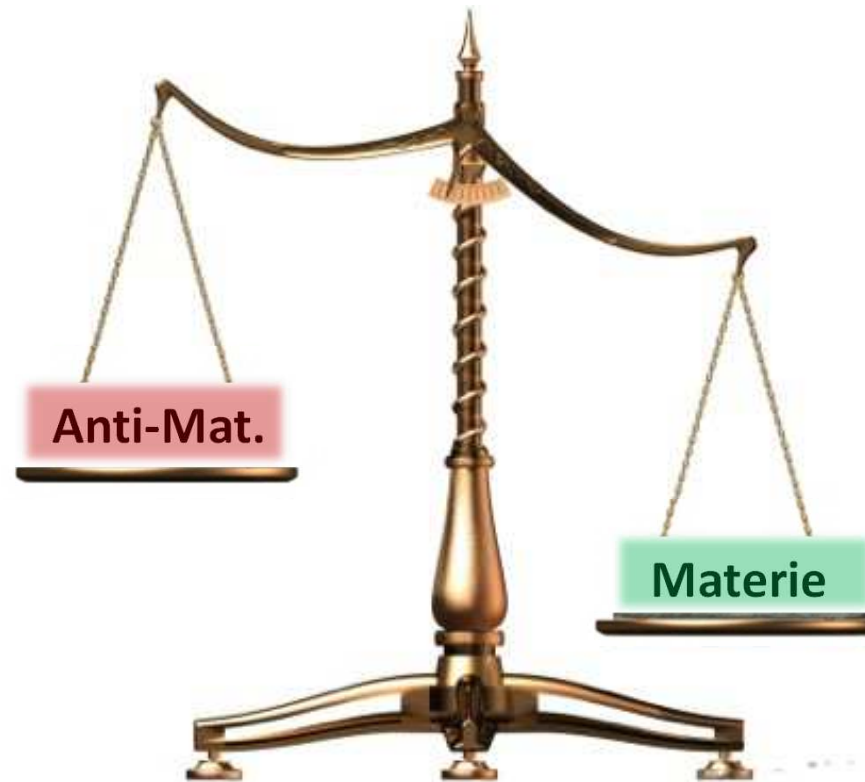


Asymmetrie in der Natur

Einschub



Warum Symmetrien wichtig sind



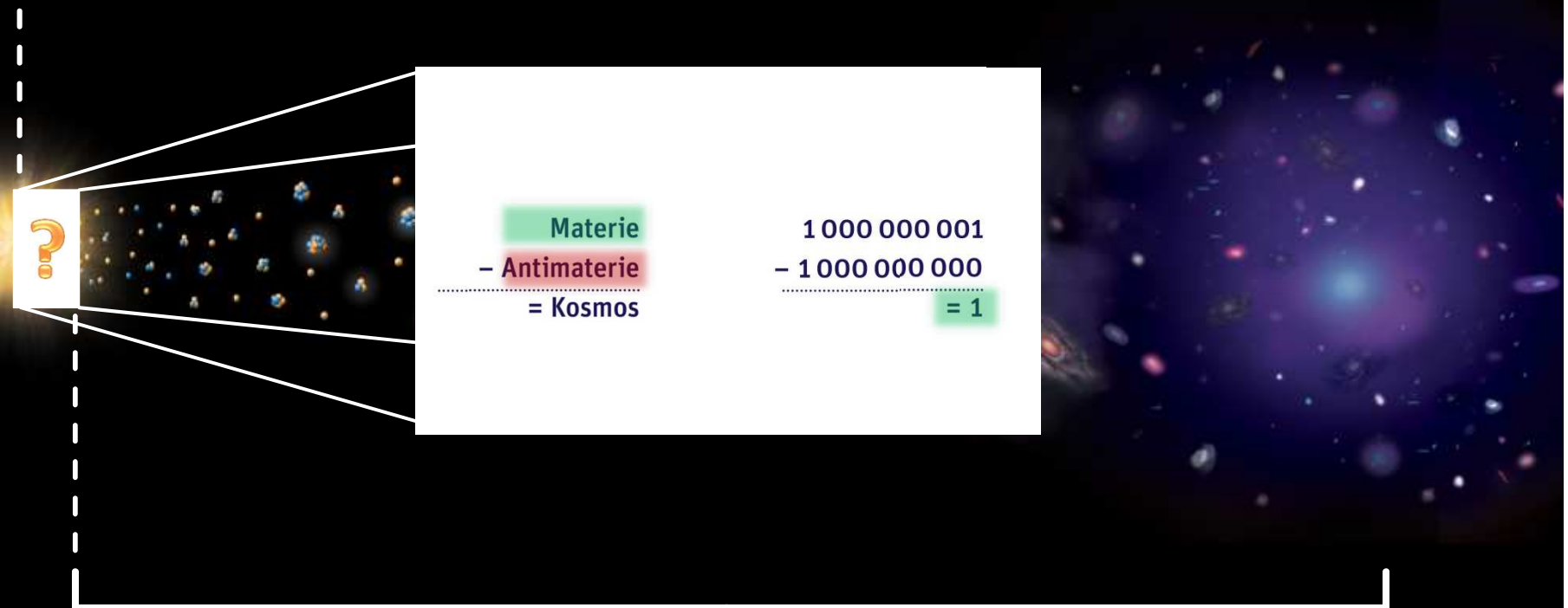
Diese Standard Modell (SM) **CP-Verletzung** ist viel zu klein!

Neue Physik - jenseits SM

Zeitachse

0

Heute



Materie 1 000 000 001
– Antimaterie – 1 000 000 000
= Kosmos = 1

10^{-6} s

„Materie“

4×10^{17} s

Schicksal der Antimaterie

Bausteine des Standardmodells der Teilchenphysik

e^-	e^+	ν_e	$\bar{\nu}_e$	u	\bar{u}	d	\bar{d}
μ^-	μ^+	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	c	\bar{c}	s	\bar{s}
τ^-	τ^+	ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	t	\bar{t}	b	\bar{b}
Anti-Leptonen				Anti-Quarks			

Suche nach neuer CPV –
bei Leptonen; Quarks

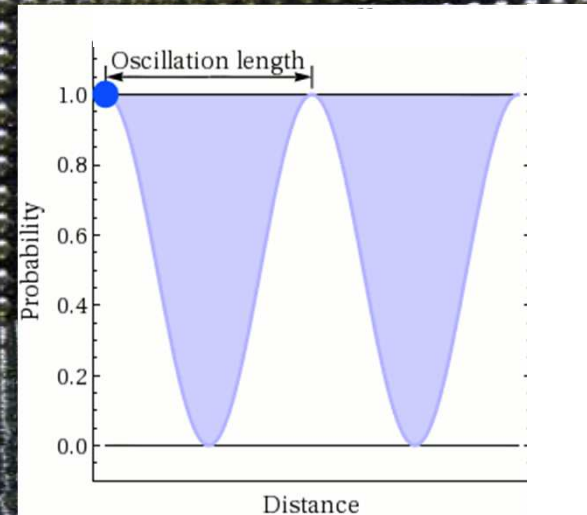
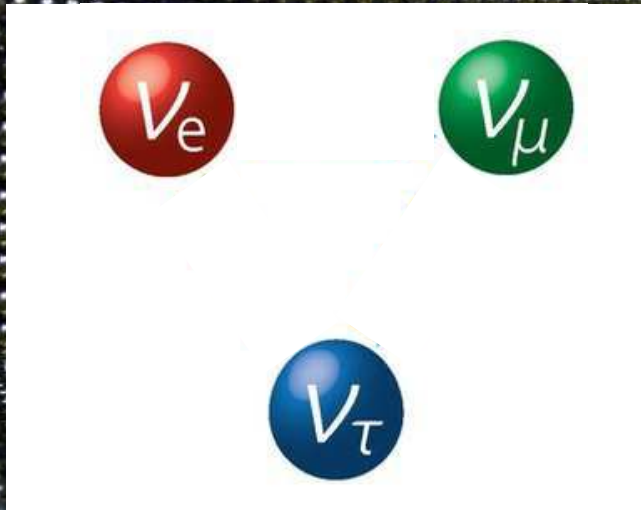
Leptonischer Bereich:

„Leptogenese“

Neutrinos

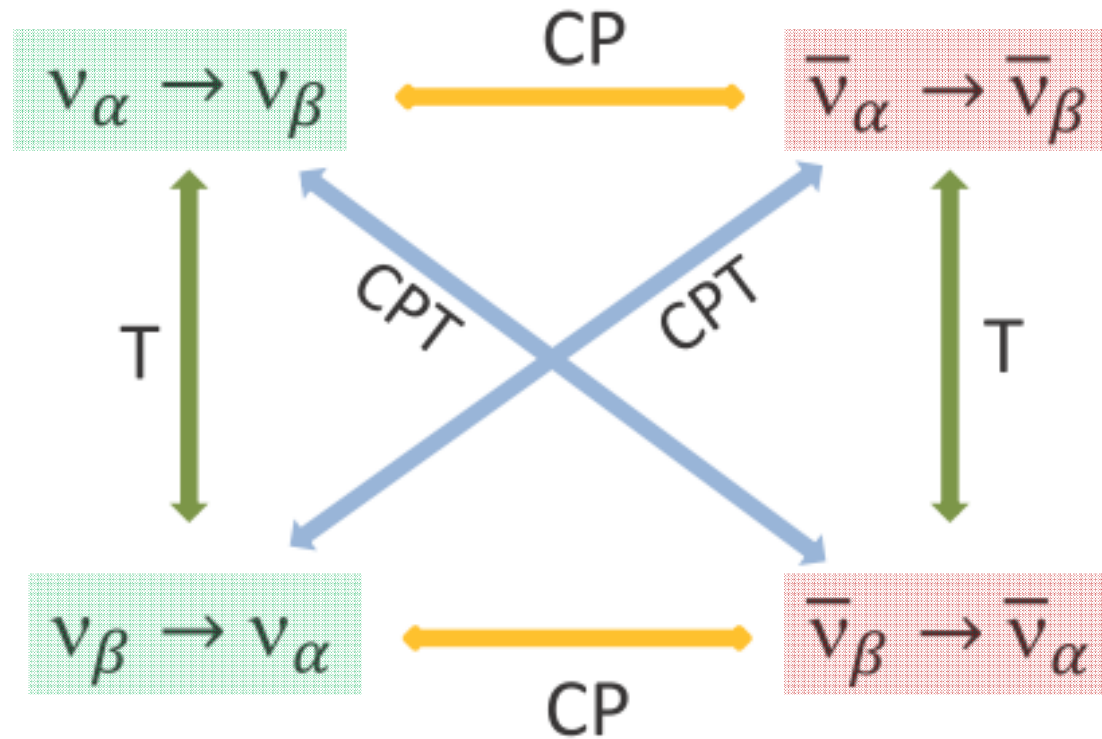
- Häufigste Teilchensorte im Kosmos:
ca. 110 pro cm^3
- entstehen bei nuklearen Zerfalls-
und Fusions-Reaktionen: bspw. in
Kernreaktoren, Sonne, ...
- sehr schwierig nachweisbar

Neutrinos



Flavor-Oszillationen

Leptonischer Bereich



Vergleich von **Neutrino-** und **Anti-Neutrino** – Oszillationen

CPV ?

Leptonischer Bereich

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

nach etwa 2 μs

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

(... entsprechend für π^+ ...)

Unterschied zw. Oszillationen von **Neutrino-** u. **Anti-Neutrino?**

Experimente in Planung

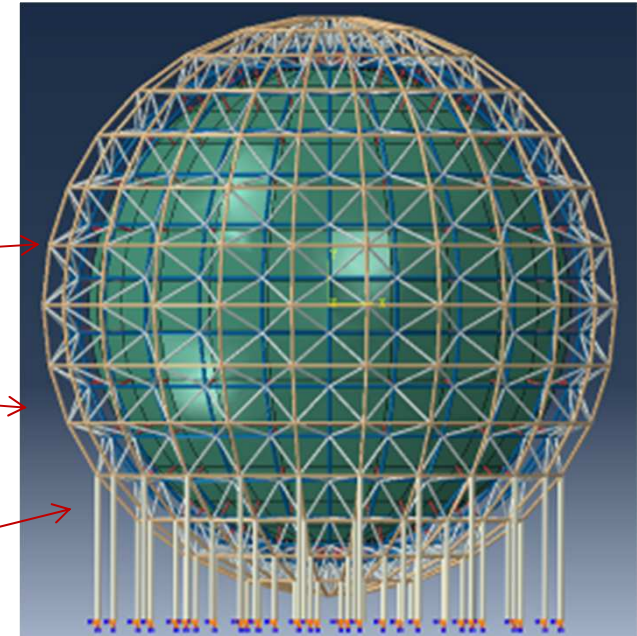
Leptonischer Bereich



**Neutrinos
von Kernreaktoren
~53 km entfernt**

und aus dem Kosmos

**Jiangmen Underground
Neutrino Observatory
(JUNO), China**



**20.000 t Flüssigszintillator
15.000 Photomultiplier
700 m unter der Erde
Konstruktion 2015 – 2019**

Ein Beispiel

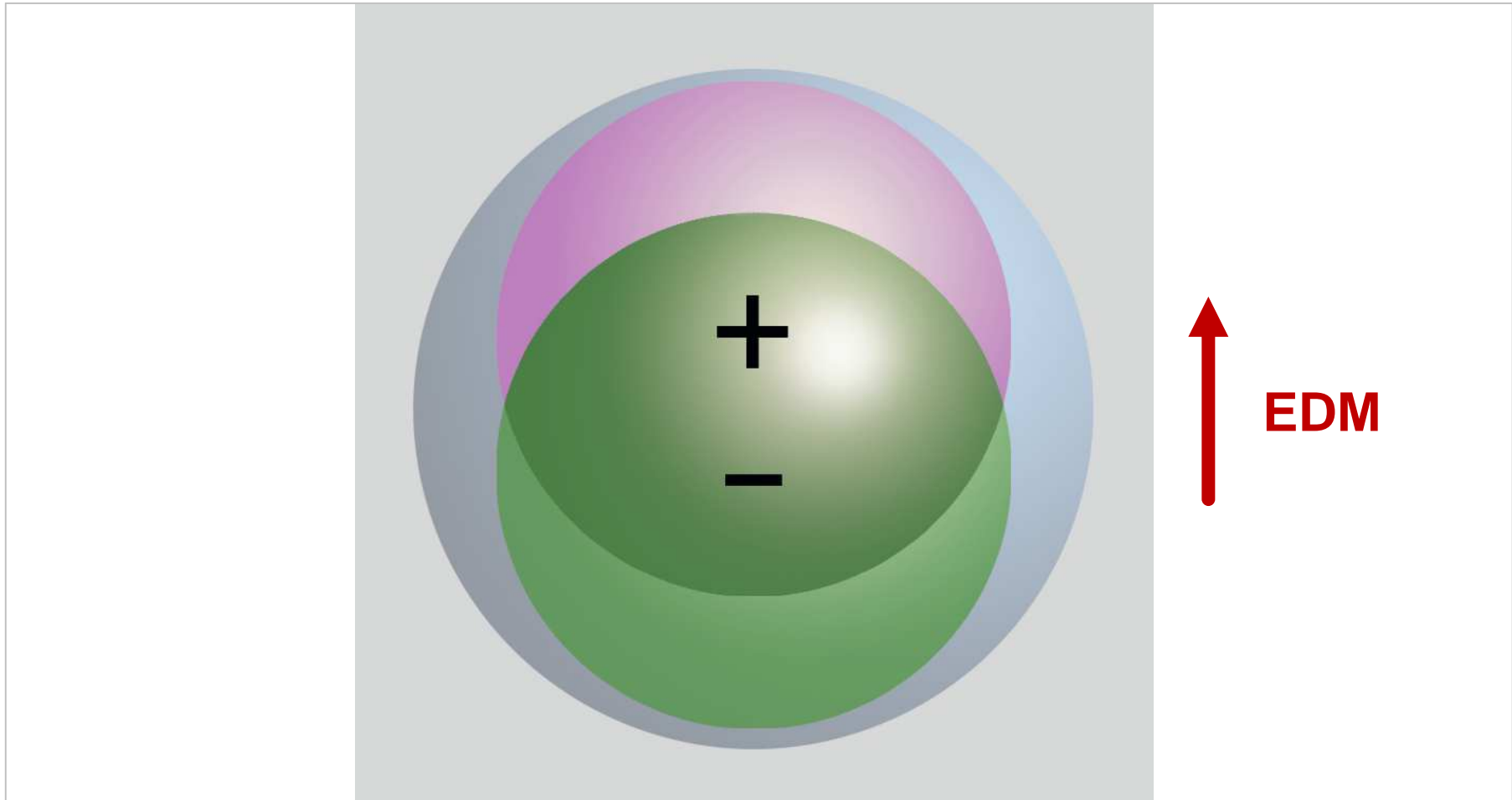
Hadronischer Bereich:

„Baryogenese“

Nukleonen

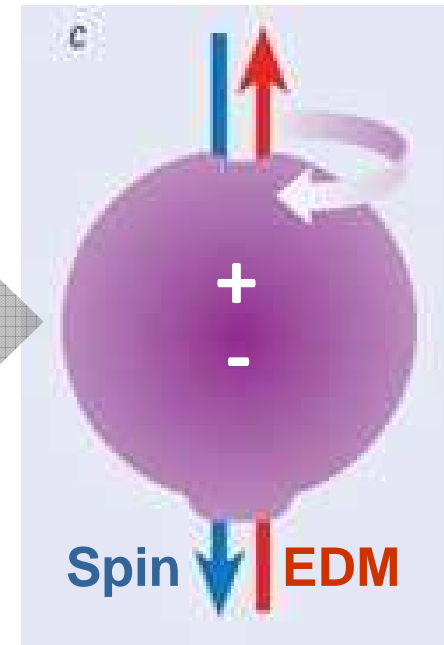
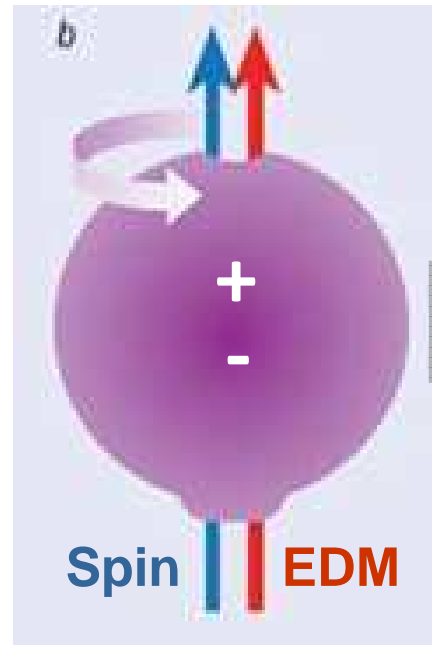
- Protonen (p^+) und Neutronen (n^0)
- Nicht fundamental (3 Quarks)
- Bausteine der Atomkerne
- Lebensdauer p größer 10^{33} Jahre
- Lebensdauer n etwa 11 Minuten
- Anti-Nukleonen (\bar{p}^- , \bar{n}^0)

Hadronischer Bereich



Elektrisches Dipolmoment

Hadronischer Bereich



Unterschiedliche
Zustände

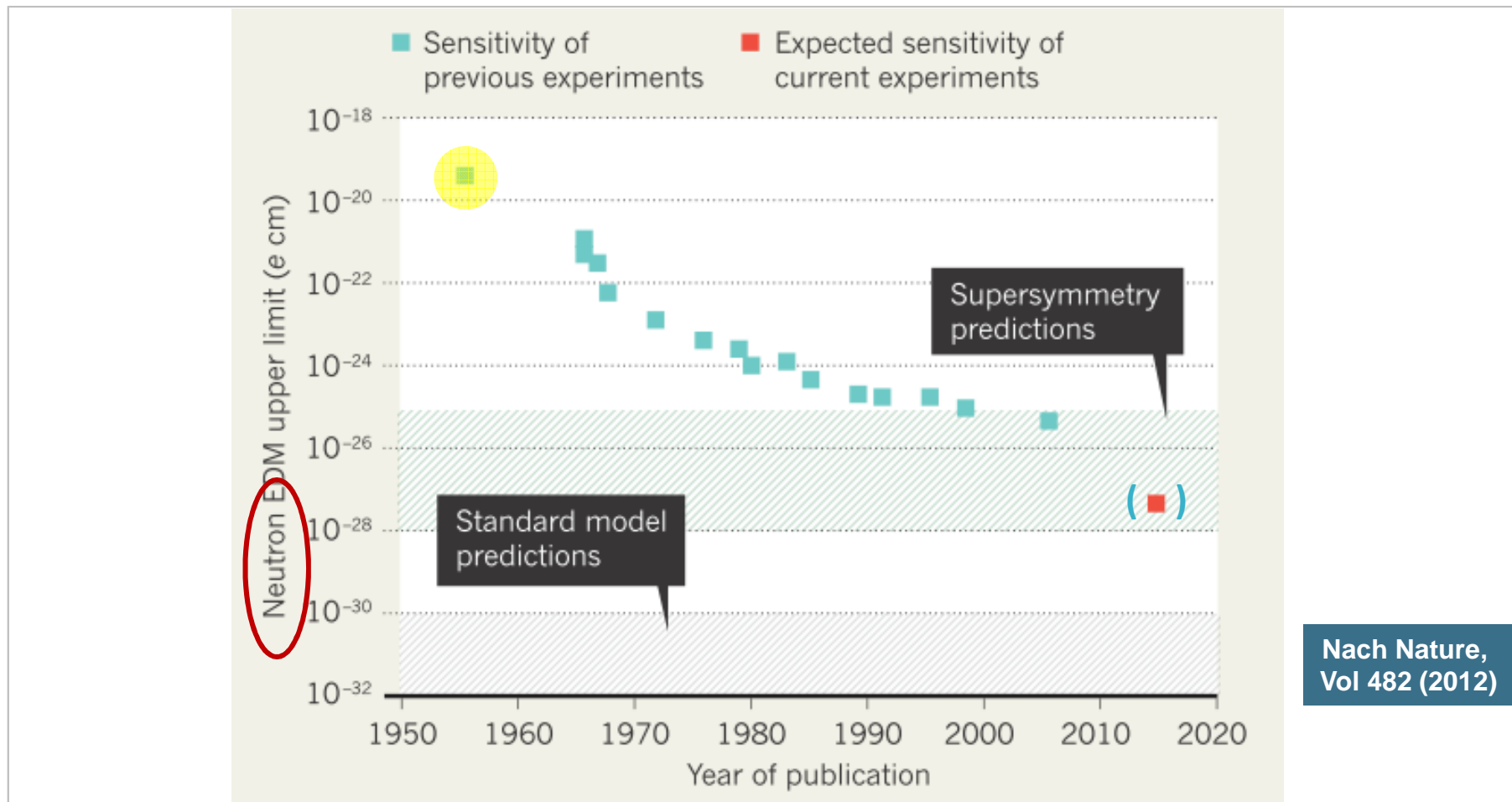
EDM verletzt T (CP)

Hadronischer Bereich



Präzisionsexperiment!

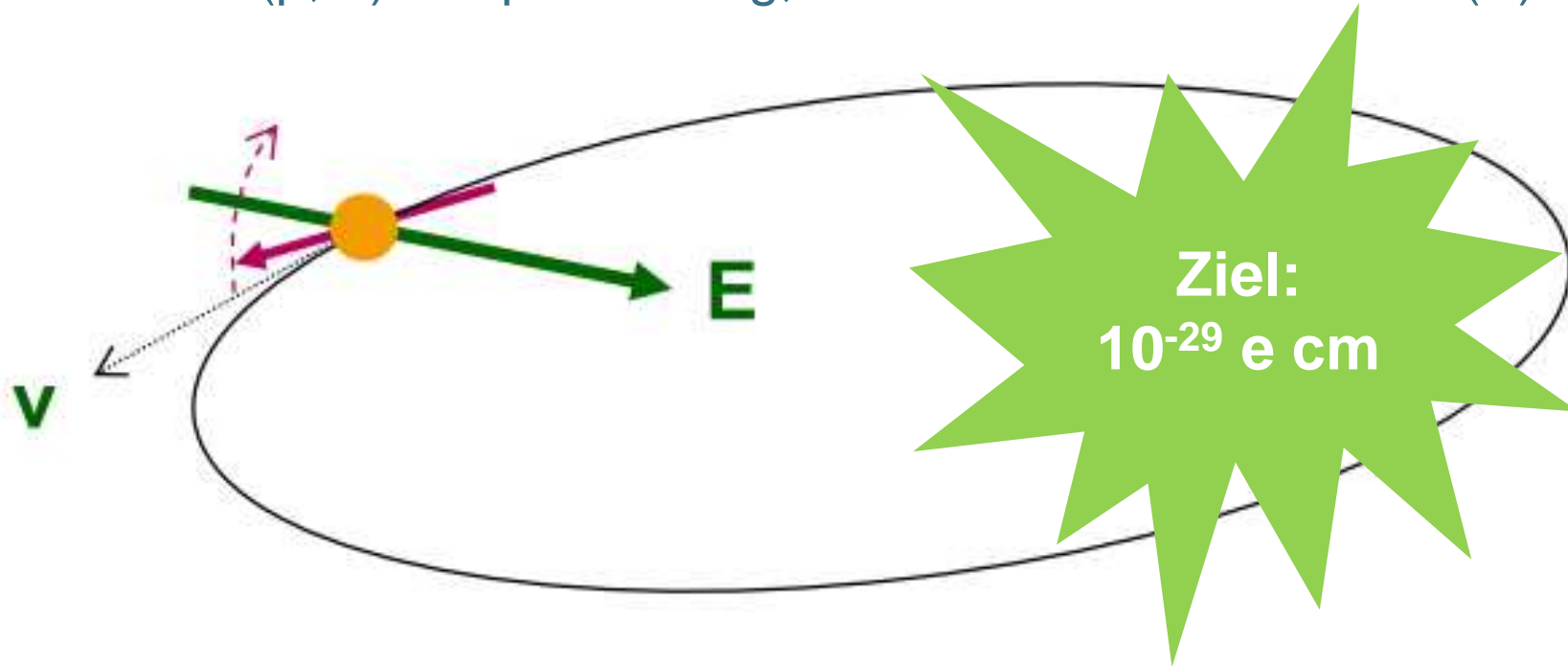
Hadronischer Bereich



Bisher: nur Obergrenzen

Hadronischer Bereich

Teilchen (p, d) in Speicherring; **radiales elektrisches Feld (E)**:



Bei $\text{EDM} \neq 0$: Drehmoment: $\vec{\tau} \sim \vec{d} \times \vec{E} \rightarrow$ **Spin dreht aus Ebene**

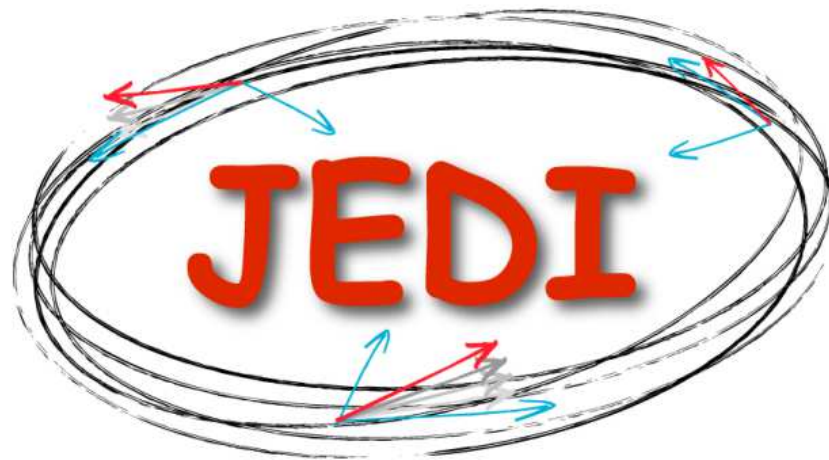
Neu: geladene Teilchen



COSY-Jülich

- Konventioneller Speicherring für polarisierte Protonen- und Deuteronen-Strahlen
- Ideale Test- und Entwicklungsmaschine für Speicherring-EDM Projekt

COSY-Jülich



- JARA | Fame („Fate of Antimatter“)
- Projektstufen: R&D, ... finaler Ring

Präzisionsspeicherring



- Herausforderungen auf höchstem Niveau – ein Projekt für die HGF „EDM @ COSY“

Schicksal der Antimaterie – Weshalb existieren wir?

Suche nach
neuer
CP-Verletzung

Warum
ist nicht
nichts?

Forscher wollen eines
der größten Rätsel
lösen

Neu: EDM von geladenen Teilchen –
Präzision; Entdeckungspotenzial

Vielen Dank!

Hans Ströher | Forschungszentrum Jülich